

TECHNISCHE ZUVERLÄSSIGKEIT

Kostensenkung in der Windenergie



IMPRESSUM

Herausgeber

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES
Am Seedeich 45
27572 Bremerhaven
Tel. +49 471 14290-100
Internet: www.iwes.fraunhofer.de
ist eine rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten
Forschung e.V.
Hansastraße 27 c
80686 München
Telefon: +49 89 1205- 0
Fax: +49 89 1205-7531
www.fraunhofer.de

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a
Umsatzsteuergesetz: DE 129515865
Registergericht
Amtsgericht München
Eingetragener Verein
Register-Nr. VR 4461
Redaktionsteam: Arne Bartschat, Christian Broer, Nora Denecke,
Katharina Fischer, Tobias Meyer, Britta Rollert (Koordination),
Matthias Stammler
Verantwortliche Redakteurin:
Britta Rollert
britta.rollert@iwes.fraunhofer.de

Bildnachweise: Titelbild, S. 2, 3, 13, 15: Jens Meier /
S. 10: links: Jan Meier; rechts: Martina Buchholz /
S. 11: oben und unten: Martina Buchholz, Mitte: Jan Meier

Druck: Druckerei Schmidt GmbH & Co. KG, Lünen

Status: Juli 2018

Nutzungsrechte: Copyright © by Fraunhofer IWES.
Alle Rechte vorbehalten. Ein Download oder Ausdruck dieser Veröffent-
lichungen ist ausschließlich für den persönlichen Gebrauch gestattet.
Alle darüber hinaus gehenden Verwendungen, insbesondere die
kommerzielle Nutzung und Verbreitung, sind grundsätzlich nicht
gestattet und bedürfen der schriftlichen Genehmigung.

Anfragen richten Sie bitte an folgende Adresse:
britta.rollert@iwes.fraunhofer.de

Das Fraunhofer IWES ist DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert für
Produktentwicklung bis zum Prototypen-Stadium,
Technologieentwicklung und -optimierung
sowie Erprobung in Demonstrationszentren



Förderer

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN

Auf Betrieb und Instandhaltung entfallen rund 20 bis 30 Prozent der Lebenszykluskosten einer Windenergieanlage. Ein Großteil hiervon entsteht durch Wartung und ausfallbedingte Reparaturarbeiten. Hinzu kommt der Ertragsverlust bei einem Anlagenstillstand – gerade bei Offshore-Anlagen ist die Reparatur logistisch aufwendig und oft nicht kurzfristig realisierbar.

Die Windenergiebranche ist heute einem extrem starken Wettbewerbsdruck ausgesetzt – viele Schlüsselmärkte wurden oder werden auf ein Ausschreibungsverfahren zur Preisfindung für Windstrom umgestellt. Die gesamte Wertschöpfungskette gerät dadurch unter zusätzlichen Kostendruck. Somit kommt der Zuverlässigkeit von Windenergieanlagen und ihren Komponenten, insbesondere denen mit hohen Ausfallraten, eine zentrale Bedeutung bei der Senkung der Stromgestehungskosten zu.

Neben der Entwicklung einer geeigneten Instandhaltungsstrategie ist es von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Anlagenbetrieb, die Zuverlässigkeit der Komponenten zu erhöhen. Um dies zu erreichen, ist ein umfassendes Verständnis von Ausfallursachen und -mechanismen Grundvoraussetzung. Oftmals sind sie jedoch nicht hinlänglich geklärt.

Untersuchungen am Fraunhofer IWES auf Basis von mehr als 2.700 Anlagen verschiedenster Hersteller zeigen beispielsweise, dass Frequenzumrichter im Mittel alle zwei Jahre ausfallen. Der volkswirtschaftliche Schaden ist immens: Auf ein Jahr umgerechnet ergeben sich bei einem derzeitigen Anlagenbestand von 50 GW in Deutschland rechnerisch Reparaturkosten und Ertragsausfälle von über 200 Mio. Euro; darüber hinaus gehen über 200 Gigawatt-Stunden Energie verloren. Damit ließen sich 55.000 Haushalte ein Jahr lang mit Strom versorgen.

Das Fraunhofer IWES bietet eine große Bandbreite von Dienstleistungen, um die Zuverlässigkeit von Komponenten und Anlagen weiter zu steigern und durch einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb dem weiteren Ausbau der Windenergie Vorschub zu leisten: Mit statistischen Felddatenanalysen, Root-Cause-Analysen, Prüfungen von Großkomponenten, Feldmessungen sowie der Erforschung neuer Methoden für Prüfung und Restlebensdauerbewertung unterstützen wir Anlagenbetreiber, Projektierer, Hersteller und Zulieferer auf dem Weg zu zuverlässigerer Anlagentechnik und reduzierten Betriebs- und Instandhaltungskosten.



FELDDATENBASIERTE AUSFALLURSACHENANALYSE FÜR VERBESSERTE ZUVERLÄSSIGKEIT

Grundlegend für die Steigerung der Zuverlässigkeit einer Anlagenkomponente ist es, die Faktoren zu identifizieren, die den Defekt auslösen, und die Versagensmechanismen nachzuvollziehen. Ist beides bekannt, können wirksame Schutzkonzepte entwickelt und die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs gesteigert werden. Felddaten von Anlagenflotten im Betrieb und beobachtete Schadensverläufe liefern dafür wertvolle Informationen, die in einer systematischen Auswertung verdichtet werden und in die Entwicklung spezifischer Schutzmaßnahmen einfließen können.

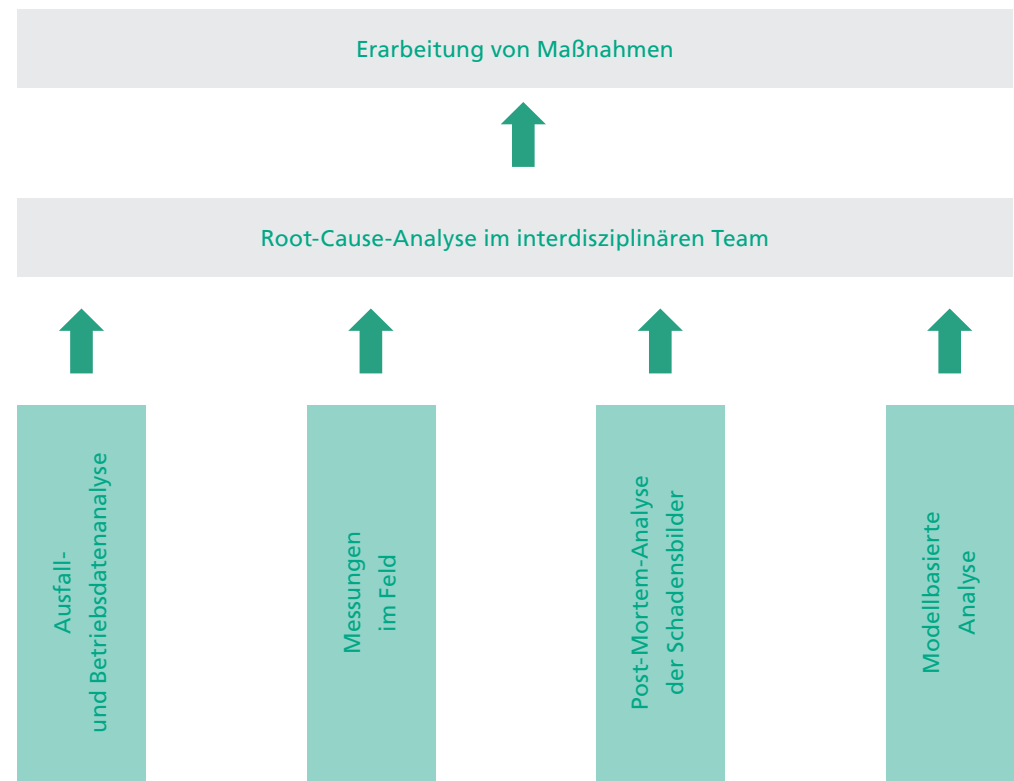
Breit aufgestellte Ausfallursachenanalyse

Im Rahmen von gezielten Feldmessungen werden darüber hinaus Umgebungs- und Betriebsbedingungen ermittelt. Vor allem vergleichende Messungen auf Anlagen mit auffällig häufigen und mit besonders seltenen Ausfällen liefern wichtige Anhaltspunkte für die Ausfallursachenanalyse. Post-Mortem-Untersuchung defekter Komponenten mit laboranalytischen Methoden tragen ebenfalls wesentlich zur Ursachenklärung bei. In manchen Fällen ist es sinnvoll, ergänzend eine modellbasierte Analyse durchzuführen, um Effekte aus der hochdynamischen Wechselwirkung von mechanischen, elektrischen und Strukturkomponenten unter dem Einfluss von Wind, Netz und Anlagenregelung detaillierter zu betrachten.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden zusammengeführt und von einem interdisziplinären Team ausgewertet. Wenn die Hauptursachen für das Komponentenversagen identifiziert sind, werden auf dieser Grundlage in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber Schritte zur Steigerung der Zuverlässigkeit abgeleitet. Bei der Zusammenarbeit mit Betreibern und Service-Dienstleistern stehen dabei typischerweise Maßnahmen für Bestandsanlagen (z.B. Retrofit-Lösungen, Veränderungen in der Instand-

haltungspraxis) im Vordergrund, in Kooperationen mit Komponenten- oder Anlagenherstellern sind es dagegen Anpassungen von Neuanlagen (z.B. Änderungen von Design und Betriebsführung).

Angewandte Methodik zur Ausfallursachenanalyse basierend auf vier Säulen

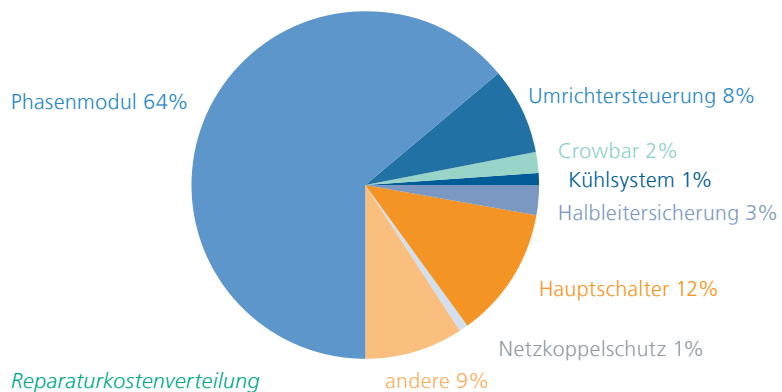


Schwachstelle Frequenzumrichter

Die leistungselektronischen Frequenzumrichter in Windenergieanlagen führen die Ausfallstatistiken an und verursachen massive Reparaturkosten und Ertragseinbußen: In Deutschland entsteht dadurch ein volkswirtschaftlicher Schaden von jährlich 200 Mio. Euro. Das Problem ist seit vielen Jahren bekannt, doch die Ausfallursachen sind nach wie vor nicht in ausreichendem Maße aufgeklärt.

Für das Fraunhofer Innovationscluster „Leistungselektronik für regenerative Energieversorgung“ haben zahlreiche Unternehmen umrichterspezifische Ausfalldaten von über 2.700 Windenergieanlagen in 23 Ländern bereitgestellt, und damit eine umfassende Auswertung ermöglicht. Anhand dieser Daten wurde beispielsweise untersucht,

- welche Komponenten innerhalb der Umrichterschaltanlage durch ihre Ausfälle die höchsten jährlichen Reparaturkosten und Ertragseinbußen verursachen,
- ob sich hersteller- oder standortspezifische Unterschiede in den Ausfallraten zeigen,
- welche Designfaktoren einen statistisch signifikanten Effekt auf die Zuverlässigkeit von Komponenten haben,



Reparaturkostenverteilung bei Windenergieanlagen mit DFIG und Teilumrichter

- ob Früh-, Zufalls- oder degradationsbedingte Spätausfälle das Ausfallverhalten dominieren,
- ob zeitliche oder örtliche Muster im Ausfallverhalten erkennbar sind und mit Betriebs- oder Umgebungsbedingungen korrelieren,
- inwieweit ein Zusammenhang zwischen der Betriebshistorie von Anlagen und dem Auftreten von Ausfällen besteht.

Die Auswertungen zeigten unter anderem, dass:

- Schäden an der Umrichterschaltanlage mit im Mittel 0,5 Ausfällen je Anlage und Jahr sehr häufig auftraten,
- die Phasenmodul-Komponenten, bestehend aus den Leistungshalbleitermodulen inkl. Treiberboards, Zwischenkreiskondensatoren und -verschienung, die Hauptkostentreiber waren,
- die Zuverlässigkeit dieser Umrichter-Kernkomponenten dabei in Anlagen, die nach 2010 in Betrieb genommenen wurden, im Mittel nicht höher war als die von 10 bis 15 Jahre älteren Anlagen,
- in Jahreszeiten mit hoher Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Regionen deutliche Ausfallhäufungen aufgetreten sind.

Ein zentrales Fazit der Untersuchungen ist: Die im Feld beobachteten Ausfälle wurden durch andere Versagensmechanismen als allgemein angenommen ausgelöst - Ursache dafür waren nicht die aus anderen Leistungselektronik-Anwendungen bekannten Ermüdungseffekte. Vielmehr spielten Umgebungseinflüsse, insbesondere Feuchtigkeit und Betauung, dabei eine entscheidende Rolle.

Die Methodik, die zur Ausfallursachenanalyse angewendet wird, eignet sich gleichermaßen für elektrische und mechanische Anlagenkomponenten und hat sich in beiden Bereichen bereits bewährt.



Beschädigtes Umrichtermodul

Unser Leistungsangebot:

- Explorative Ausfall- und Betriebsdatenanalyse mittels statistischer Methoden
- Feldmessungen zur Charakterisierung von Umgebungs- und Betriebsbedingungen
- Post-Mortem-Untersuchung defekter Komponenten mit laboranalytischen Methoden
- Modellbasierte Analyse unter Berücksichtigung der Gesamtanlage
- Maßnahmenempfehlungen für verbesserte Zuverlässigkeit und reduzierte Ausfallfolgekosten

ZUVERLÄSSIGKEIT VON BLATTLAGERN

Wälzlager erreichen in den meisten industriellen Anwendungen eine sehr hohe Lebensdauer. Seit den ersten Ansätzen zu ihrer Berechnung Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die Verfahren immer weiterentwickelt und gelten für Standardanwendungen als sehr genau. Die Einsatzbedingungen für die Wälzlager von Windenergieanlagen unterscheiden sich davon jedoch maßgeblich: Hohe stochastische Lasten, ständig variierende Drehzahlen und Schnittstellen mit komplexen Steifigkeitsprofilen erhöhen die Ausfallwahrscheinlichkeit und führen dazu, dass Ausfälle weit vor Ende der berechneten Ermüdungslebensdauer nicht ungewöhnlich sind. Nicht berechenbare Phänomene wie „White Etching Cracks“ in den Lagern der Getriebestufen und im Generator führen speziell in Windenergieanlagen häufig zu Problemen. Für oszillierende Wälzlager, wie sie im Bereich der Rotorblattlagerung eingesetzt werden, fordern die Zertifizierungsbehörden aktuell keine Lebensdauerberechnung; bisher angewandte Verfahren führen nur zu bedingt aussagekräftigen Ergebnissen. Stillstandsmarken, Ringbrüche, Kontaktkorrosion, Kernversagen und Verschleiß sind daher typische Beispiele für auftretende Schäden.

Großlagerprüfstand für beschleunigte, realistische Tests

Das Fraunhofer IWES forscht seit 2013 an den Großwälzlagern von Windenergieanlagen, um Ihre Zuverlässigkeit zu steigern sowie neuen Berechnungsmethoden und Designs den Weg zu ebnen. Das „Large Bearing Laboratory“ (LBL) am neu geschaffenen Institutsstandort Hamburg bündelt diese Aktivitäten und erweitert sie um experimentelle Testmöglichkeiten für Lager von Windenergieanlagen der nächsten Generation. Versierte Lagerexperten des Instituts haben zu diesem Zweck eigene Verfahren zur Erstellung von Dauertestprogrammen entwickelt. Diese erzeugen über eine komplexe Datenanalyse die erforderlichen



Technische Kennzahlen BEAT6.1-Prüfstand

- Testen von Lagern mit 3 - 6,5 m Durchmesser
- Einleitung statischer Lasten bis 50 MNm
- dynamische Biegemomente mit +/- 25 MNm bei 0,7 Hz
- hochintegriertes Kontroll- und Datenerfassungssystem mit sehr hohen Prozessgeschwindigkeiten - autarker Betrieb über Monate möglich
- Messsystem mit 500 hochaufgelösten Messkanälen und redundanten Datenbanken
- beschleunigte Prüfung: Nachbildung der Lasten aus 20 Betriebsjahren in 6 Monaten
- Emulation von Anschlussbauteilen und ihrer Eigenschaften

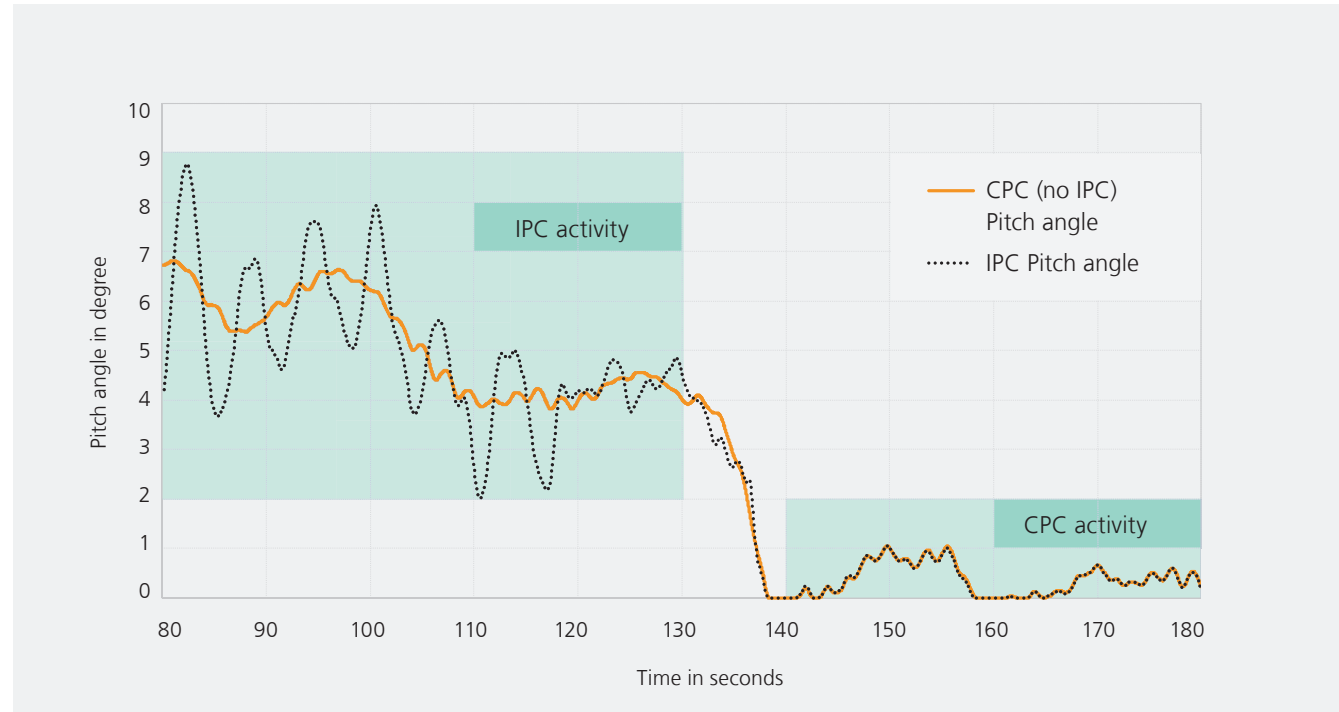
Pitchwinkerverstellung – mit und ohne Individual Pitch Control

Zeitreihen für Dauertests, die unterschiedliche Schadensmechanismen (Kontaktermüdung, Verschleiß, Strukturermüdung) nachbilden können.

Komplexe Schnittstellen wie Rotorblatt und Rotornabe im Bereich von Rotorblattlagern werden am Großwälzagerprüfstand durch Adapterbauteile emuliert, die das Steifigkeitsverhalten der Komponenten detailgetreu wiedergeben und somit eine realitätsnahe Belastung der Prüflinge ermöglichen. Mit den Ergebnissen der Tests zu Ermüdung und Verschleiß können auf dieser Basis die Auslegungsmethoden verbessert und das Ausfallrisiko verringert werden. Auf dem Teststand, der Ende 2018 den Betrieb aufnehmen wird, kann die Zertifizierung eines Lagers lange vor seinem ersten Einsatz an einer Windenergieanlage erfolgen. Weiterhin wird das Interesse der Industrie an verkürzten Testzeiten bedient, so dass neue Produkte schneller eine nachgewiesene Marktreife erlangen können. Im Rahmen des aktuellen Verbundprojektes HAPT (Highly Accelerated Pitch Bearing Test) werden auf dem Lagerprüfstand zunächst sechs Lager mit einem Nenn-durchmesser von fünf Metern in Funktions- und Dauertests untersucht.

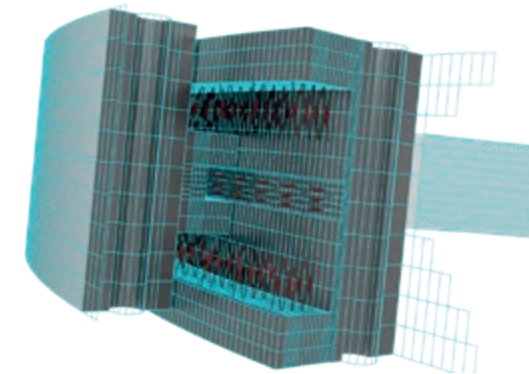
Lebenszyklus eines Großwälzlagers komplett abgedeckt

Die begleitende Simulation der Lager unterstützt die Prüftätigkeiten und umfasst Einzelkontaktsimulationen sowie globale Lagermodelle für FE- und MKS-Analysen. Die Schnittstellen (Lagergehäuse, Rotorblatt, Getriebegehäuse, Rotornabe, Turmkopf) werden ebenfalls in FE-Modellen abgebildet. Alle Simulationsmodelle werden mit Messdaten abgeglichen und validiert. Eigene Controller und aeroelastische Anlagenmodelle erlauben außerdem die Untersuchung von Veränderungen in der Betriebsführung, zum Beispiel bei Einzelblattverstellung (Individual Pitch Control) und der damit verbundenen Rückwirkung auf die Lagerstellen.



Die Analyse von Simulations- und Messdaten ermöglicht die Abschätzung dominierender Schadensmechanismen und die detaillierte Ermüdungslebensdauerberechnung. Dabei werden nicht nur die Lager als Ganzes, sondern einzelne Laufbahnabschnitte berechnet, um eine exaktere Aussage treffen zu können. Von der Konzeptentwicklung über die Simulation, Auslegung, Prüfung und schließlich Begutachtung deckt das IWES-Portfolio den kompletten Lebenszyklus eines Großwälzlagers ab.

Neben dem Großlagerprüfstand BEAT 6.1 betreibt das Fraunhofer IWES weitere Prüfinfrastruktur für Rotorblattlager und Hauptlager sowie kleinere Prüfstände zur Durchführung von Grundlagenversuchen und für die Prüfung großer Stückzahlen.



Visualisierung eines globalen FE-Modells eines dreireihigen Zylinderrollenlagers

ZUVERLÄSSIGKEITSREGELUNG

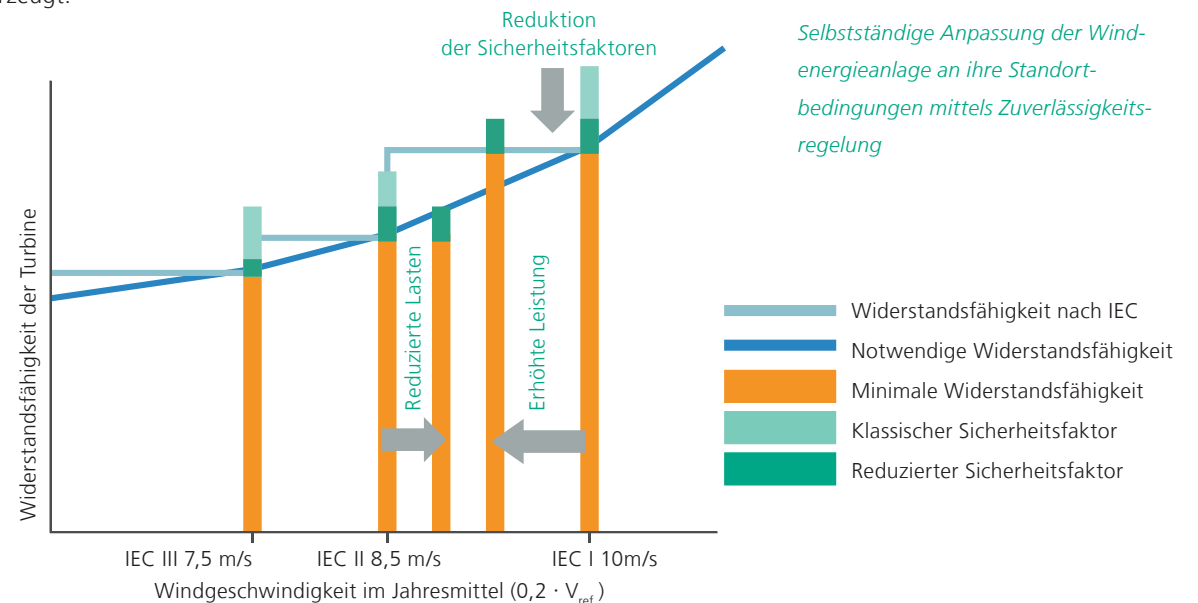
Windenergie ist bereits eine der wirtschaftlichsten Formen der Stromproduktion aus regenerativen Quellen. Dennoch müssen weiterhin die Kosten gesenkt werden, um im Wettbewerb mit Photovoltaik und anderen günstigen Technologien bestehen zu können. Das Fraunhofer IWES entwickelt Methoden zur selbstständigen Anpassung einer individuellen Windenergieanlage an die Umweltbedingungen ihres Standorts sowie an die bereits erfolgte Schädigung. Diese Methoden führen zu einer verbesserten Materialausnutzung, geringerem Materialaufwand, effizienterer Instandhaltung und einer Steigerung der Leistungsfähigkeit.

Die Windbedingungen an einem Standort beeinflussen die Auslegung und Lebensdauer einer Anlage maßgeblich. Während der Entwicklung einer Anlage sind sie nur unzureichend bekannt, müssen aber dennoch berücksichtigt werden. Dies geschieht durch die Einordnung in eine der drei Standortklassen nach IEC61400-1. Innerhalb einer Klasse werden identische Anlagen mit minimalen Anpassungen an sehr unterschiedlichen Standorten betrieben. Die Anlagenauslegung orientiert sich dabei an den nominellen Standortbedingungen. Da die Anlagen immer den widrigsten Bedingungen einer Standortklasse standhalten können müssen, werden die meisten Anlagen überdimensioniert.

Längere Nutzungsdauer oder maximaler 20-Jahres-Ertrag?

Die betriebsfeste Auslegung geht üblicherweise von einer Mindestlebensdauer von 20 Jahren aus. Nach dem Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer verbleibt zumeist eine nutzbare Restlebensdauer, die unter Umständen durch eine Laufzeitverlängerung erschlossen werden kann. Dafür muss jedoch für jede einzelne Anlage der Nachweis erbracht werden, dass sie weiterhin sicher betrieben werden kann.

Eine Nutzungsdauerverlängerung ist aber nicht in jedem Fall möglich oder sinnvoll; zum Teil sprechen ökonomische, rechtliche oder technische Randbedingungen dagegen. In diesen Fällen greift eine andere Betriebsstrategie: Mit den Anlagen soll während der vorab festgelegten Nutzungsdauer die maximale Energieausbeute erwirtschaftet werden. Die Leistungserhöhung einer Windenergieanlage, beispielsweise mithilfe einer hochdynamischen Regelung oder durch kurzzeitige Überlast, ist aber meistens nur auf Kosten eines erhöhten Verschleißes zu erreichen. Dieser darf dabei nicht zu unerwarteten frühen Ausfällen führen, um die Zuverlässigkeit nicht zu beeinträchtigen. Im Idealfall wird die Leistung der Anlage daher genau so weit erhöht, dass die zulässige Schädigung über die gesamte Nutzungsdauer eingebracht wird. Damit wird die technisch erreichbare Lebensdauer der Anlage vollständig genutzt und zugleich der maximale Energieertrag erzeugt.



Automatisierte Anpassung an Standort und Schädigung

Das Fraunhofer IWES entwickelt zu diesem Zweck übergeordnete Regelungsstrategien für Windenergieanlagen. Sie erfassen den aktuellen Schädigungszustand der Anlage und führen diese Information in die Betriebsführung zurück. Diese geschlossene Zuverlässigkeits-Regelschleife beinhaltet die Erfassung des Schädigungszustands, die Bestimmung der notwendigen Anlagenkonfiguration und die Anpassung der Betriebsführung der Anlage. Zuverlässigkeitsregelung passt somit selbstständig das Verhalten einer Standard-Anlage an den individuellen Standort an. Die Standortbedingungen werden über die reale Betriebshistorie, die Lasten und Schädigungen berücksichtigt. Steht die Anlage an einem Standort, an dem die Belastungen geringer ausfallen als bei der Auslegung kalkuliert, wird dies in eine dauerhafte Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Anlage umgesetzt. Umgekehrt ist es auch möglich, eine Anlage mit nominell zu schwacher Auslegung an einem Standort mit leicht erhöhter Belastung zu betreiben; in diesem Falle wird selbstständig die Leistungsfähigkeit reduziert, um die gewünschte Nutzungsdauer einzuhalten.

Eine automatisierte Zuverlässigkeitsregelung trägt auf mehrere Arten zu einer Reduktion der Stromgestehungskosten bei:

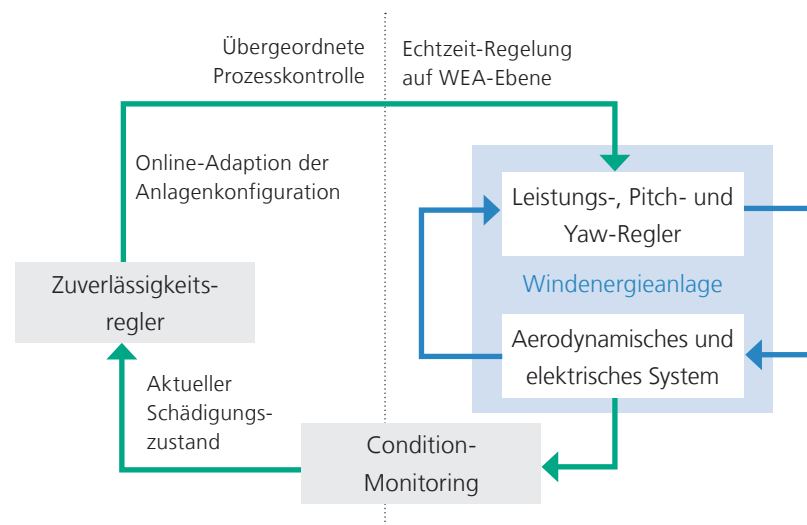
- reduzierte Investitionskosten durch bessere Materialausnutzung und geringeren Materialeinsatz
- Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Anlage, so dass die gewünschte Nutzungsdauer gerade noch sicher eingehalten wird. Dadurch wird die Streuung der Ausfallzeit reduziert, Sicherheitsfaktoren können gesenkt und die Anlage geringer dimensioniert werden

- bessere Planbarkeit und effizientere Durchführung von Instandhaltungsarbeiten, dadurch verringerte Betriebskosten. Kritische Komponenten oder die ganze Anlage werden gezielt geschont, damit der Eintritt eines Schadensfalls bis zu einer ohnehin anstehenden Wartung aufgeschoben wird
- alle Maßnahmen erhöhen den maximalen Energieertrag, was zu einer weiteren Senkung der Stromgestehungskosten beiträgt

Darüber hinaus ist eine Umsatzsteigerung möglich: die Balance zwischen eingebrachter Schädigung und Leistungsfähigkeit kann zugunsten der Leistung verschoben werden, so dass die Energieausbeute steigt. Auf diese Weise können vorübergehend erhöhte Stromvergütungen gezielt genutzt werden, um den Gewinn zu steigern.

Unser Leistungsangebot:

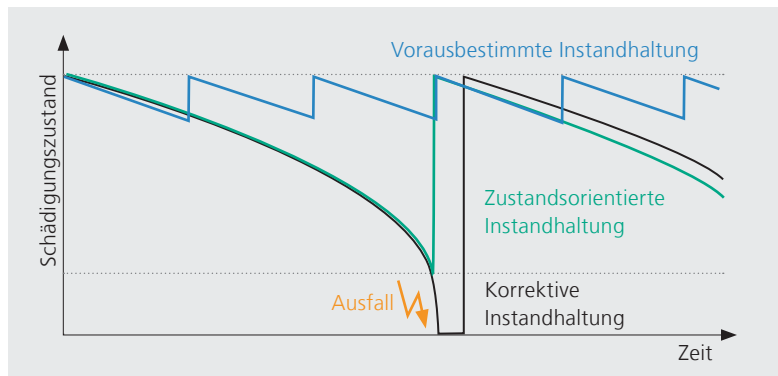
- Übergeordnete Regelungsstrategien zur optimalen Ausnutzung der Anlagenlebensdauer
- Einbinden von Condition-Monitoring-Verfahren in die Betriebsführung
- Selbstständige Anpassung einer Anlage an ihren Standort und ihre akkumulierte Schädigung



Regelung auf gewünschte Zuverlässigkeit

FEHLERFRÜHERKENNUNG MIT ZUSTANDSÜBERWACHUNGSSYSTEMEN

Für den Ausfall technischer Komponenten von Windenergieanlagen gibt es in den meisten Fällen vorausgehende Anzeichen. Werden diese frühzeitig detektiert und präventive Maßnahmen eingeleitet, können kostspielige, schwere Schäden und mögliche Folgeschäden verhindert werden. Neben geringeren Reparaturkosten bietet die kontinuierliche Zustandsüberwachung außerdem den Vorteil, Instandhaltungseinsätze besser planbar zu machen. Dies führt zu kürzeren Stillstandzeiten der Anlagen und reduzierten Ertragsausfallkosten. In Einzelfällen, wie z.B. der Detektion von Unwuchten oder Fehlausrichtungen im Triebstrang, lässt sich auf Grundlage von Messungen zur Zustandsüberwachung sogar die Entstehung von Schäden vermeiden.



Zustandsorientierte Instandhaltung minimiert Schäden und Ertragsverluste und macht Reparaturen besser planbar



Blattlager-Prüfstand:

Überwachung von Lagern mit Dehnungsmessung, Vibrationsmessung und Schmierfilmdickenmessung

Gondelprüfstand:

Condition Monitoring mittels Vibrations- und Temperatursensoren, Dehnungsmesstreifen und Thermographie



Rotorblattprüfung:

Digital-Image-Correlation-System macht Deformationen simultan auf der Druck- und Saugseite sichtbar. Außerdem Thermografie- und Ultraschallmessungen, Einsatz von DMS und Acoustic-Emission-Sensoren



Tragstrukturen:

Vermessung großskaliger Modelle mittels SHM-System mit Beschleunigungs-, Distanz-, Neigungs- und Dehnungssensorik



Wellenbiegeprüfstand:

Zustandsüberwachung über Temperatursensoren, Dehnungsmessstreifen, Laserabstandssensoren, Ölpartikelzählung und Körperschallmessung

Langjähriger Track-Record: Einsatz von CMS/SHM-Sensorik und Systemen in den Großprüfständen des Fraunhofer IWES.

Zuverlässiges CMS/SHM sichert wirtschaftlichen Anlagenbetrieb

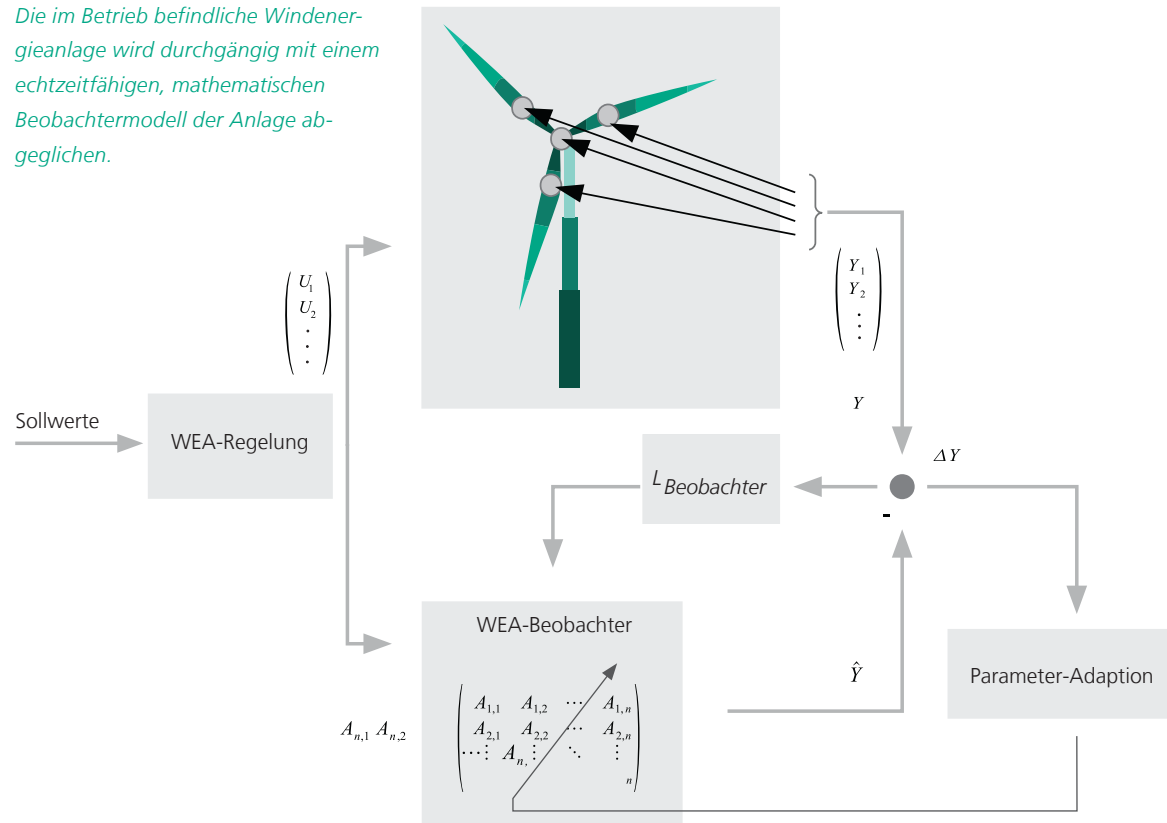
Condition-Monitoring-Systeme (CMS), die im Fall von Strukturkomponenten auch als Structural-Health-Monitoring-Systeme (SHM) bezeichnet werden, spielen somit für die technische Verfügbarkeit von Windenergieanlagen eine zentrale Rolle: Sie ermöglichen eine zustandsorientierte Instandhaltung, die Ausfällen vorbeugt und zugleich die volle Ausnutzung der Lebensdauer von Komponenten erlaubt. Bei den gegenwärtig verwendeten Monitoring-Systemen und ihrer Sensorik beklagen Anwender jedoch eine teilweise unzulängliche Zuverlässigkeit und Detektionsleistung. Aufwändige regelmäßige Inspektionen, z.B. von Rotorblättern und Offshore-Tragstrukturen, sind damit weiterhin unverzichtbar.

Für zahlreiche reparaturkostenintensive Komponenten wie beispielsweise Frequenzumrichter oder Rotorblattlager gibt es bisher zudem keine Systeme für eine verlässliche Zustandsüberwachung – somit kann ihre Instandhaltung derzeit nicht zustandsorientiert erfolgen.

Unterstützung bei Bewertung und Auswahl von Monitoring-Systemen

Das Fraunhofer IWES unterstützt Projektentwickler und Betreiber bei einer unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten sinnvollen Auswahl von CMS- bzw. SHM-Systemen. Hierbei kann auf Grundlage von Felddaten z.B. eine systematische Bewertung der Detektionsleistung (bzgl. Fehlerdetektions- und False Alarm-Raten sowie Frühzeitigkeit der Fehlererkennung) erfolgen oder eine probabilistische Kosten-Nutzen-Analyse von Monitoring-Systemen vorgenommen werden.

Die im Betrieb befindliche Windenergieanlage wird durchgängig mit einem echtzeitfähigen, mathematischen Beobachtermodell der Anlage abgeglichen.



Unser Leistungsangebot:

- Erprobung von Sensoren und von vollständigen CMS/SHM-Systemen unter kontrollierten, wiederholbaren Bedingungen auf Komponenten-Prüfständen
- herstellerneutrale Beratung zu Monitoring-Systemen und –methoden für verschiedene Komponenten sowie die Gesamtanlage
- Entwicklung von modellbasierten CMS- und SHM-Verfahren: kontinuierlicher Abgleich von gemessenem und simuliertem Anlagenverhalten zur Detektion von Anomalien
- Auswertungsverfahren für die Nutzung hochaufgelöster Betriebsdaten zur Fehlerfrüherkennung
- Restlebensdaueranalyse auf Basis von CMS-Daten
- Unterstützung bei Auswahl von CMS-/SHM-Systemen

Neue Wege zu innovativen Lösungen

Durch den Betrieb seiner Großprüfstände hat das Fraunhofer IWES über Jahre unterschiedlichste CMS-/SHM- und Sensorsysteme zur Versuchsüberwachung und Fehlerfrüherkennung eingesetzt. Auf Basis dieser Betriebserfahrung wurden innovative Monitoring-Verfahren und -Systeme entwickelt und verfeinert. Darüber hinaus arbeiten sie an der Entwicklung geeigneter Methoden für die Überwachung von Schraubverbindungen an Turmsegmenten und Rotorblattflanschen, kostengünstiger Strukturüberwachung ganzer Türme und Rotorblätter, Schmierfilmüberwachung in Großlagern und Fehlerfrüherkennung in Frequenzumrichtern.

Ein neuartiger, vielversprechender Ansatz wird mit einem modellbasierten, sensorgestützten Condition-Monitoring-System verfolgt. Es basiert auf einem kontinuierlichen Abgleich zwischen der Windenergieanlage im Feld und einem echtzeitfähigen, mathematischen Beobachtermodell der Anlage, das parallel zum Betrieb auf der Steuerung das Anlagenverhalten nachbildet.

Nutzung von Betriebsdaten zur Fehlerfrüherkennung

Eine verbesserte und auf zusätzliche Anlagenkomponenten ausgeweitete Zustandsüberwachung erfordert nicht unbedingt zusätzliche Sensorik. Die heutige Standard-Instrumentierung erhebt Betriebsdaten, die ebenfalls für die Fehlerfrüherkennung genutzt werden können. Der geringe Informationsgehalt von über 10-Min.-Intervalle gemittelten Daten hat die Möglichkeiten dafür in der Vergangenheit stark begrenzt. In der Nutzung der heute in hoher zeitlicher Auflösung verfügbaren Betriebsdaten sehen Expertinnen des Fraunhofer IWES ein beträchtliches Potenzial. Für seine Erschließung ist die Erarbeitung und Erprobung geeigneter Auswertungsverfahren ein wichtiges Gebiet für die anwendungsnahe Forschung. Gemeinsame Methodenentwicklung bietet das Institut dabei nicht nur im Bereich der Fehlerdetektion und -diagnose an, sondern auch auf dem Gebiet der CMS-Daten-basierten Restlebensdauerprognose.



AKKREDITIERTE FELDMESSUNGEN

Akkreditierte Lastenmessungen nach IEC 61400-13 nimmt das Fraunhofer IWES an verschiedenen Anlagen im Feld vor, z.B. einer 8 MW-Forschungsanlage in Bremerhaven. Daran werden unter anderem auftragsbezogen Sensorsysteme getestet. Im Rahmen der Lastenvermessung werden schadensäquivalente Lastkollektive berechnet (normierte Schädigungen), die die bisher erfahrene Schädigung durch Schwingungen quantifizierbar macht. Im Rahmen einer kurzen Messkampagne und der Begutachtung historischer Wetterdaten sollen künftig auch Aussagen zur Restlebensdauer der Windenergieanlage möglich werden.

Das Fraunhofer IWES hat in zahlreichen Kampagnen und Forschungsprojekten ein fundiertes messtechnisches Know-how aufgebaut, um Messdaten systematisch auswerten und interpretieren zu können: Betriebsdaten werden zu Ereignissen verdichtet, um eine Fehlerfrüherkennung zu gewährleisten oder nach einem aufgetretenen Schaden die Ursache zu finden und wirksame Schutzkonzepte zu entwickeln. Die Forschungsanlage wird intensiv vermessen und die Betriebsdaten hochfrequent gespeichert, so dass aus den hier erlangten multiplen Messdaten Fehlerursachenanalysen und Fehlerfrüherkennungsmethodiken anhand von realen Felddaten optimiert werden können.

Dabei werden immer wieder neue Sensoren eingesetzt, neue Messpunkte ausgestattet und Systeme erprobt. Grundsätzlich können je nach Kundendefinition Kampagnen aufgesetzt werden, die spezifische Faktoren erfassen, unter anderem Belastungszustände, Vibrationen, Temperaturen, Neigungen etc.

Durch den Zugriff auf Daten einer 8 MW-Forschungsanlage kann das Fraunhofer IWES einen Abgleich von Betriebsdaten aus dem Feld mit den Ergebnissen aus den Großprüfständen durchführen, um Prüfmethode weiter zu verbessern und besonders realistisch zu gestalten. Werden neue Anlagendesigns durch die experimentelle Überprüfung von Lastannahmen und beschleunigten Tests in den Großprüfständen systematisch validiert, minimiert sich das Risiko für die Markteinführung von Windenergieanlagen der nächsten Generation.

Feldmessungen liefern die Eingangsdaten, um die Ausfallursachenanalyse, die Zuverlässigkeit von Blattlagern, die Zuverlässigkeitsregelung und den Einsatz von Zustandsüberwachungssystemen zur Fehlerfrüherkennung zu bewerten und zu verbessern. Damit werden die Erfahrungen aus dem Feld zurück in die Forschung gebracht.



ANSPRECHPARTNER



Dipl.-Ing. Christian Broer

Abteilungsleiter,
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 511 762 14 180
christian.broer@iwes.fraunhofer.de



Arne Bartschat, M.Sc.

Gruppenleiter Großlager,
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 520
arne.bartschat@iwes.fraunhofer.de



Dipl.-Phys. Nora Denecke

Gruppenleiterin Feldmessungen,
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 318
nora.denecke@iwes.fraunhofer.de



Dr.-Ing. Katharina Fischer

Senior Scientist,
Ausfallursachenanalyse
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 511 762 17 679
katharina.fischer@iwes.fraunhofer.de



Dr.-Ing. Tobias Meyer

Gruppenleiter,
Advanced Control Systems,
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 417
tobias.meyer@iwes.fraunhofer.de



Dipl.-Ing. Matthias Stammler

Senior Engineer,
Zuverlässigkeit von Blattlagern,
Anlagen- und Systemtechnik

Tel.: +49 471 14 290 522
matthias.stammler@iwes.fraunhofer.de

